

## برآورد ارزش اقتصادی تولید کیفیت آب در جنگل‌های بلوط فارس

سیدمهدی حشمت‌الواعظین<sup>۱\*</sup>، طوبی روستا<sup>۲</sup>، علی‌اکبر نظری‌سامانی<sup>۳</sup>، منصور زیبایی<sup>۴</sup>، پدرام عطارد<sup>۵</sup> و سیدکاظم بردبار<sup>۶</sup>

- ۱- دانشیار، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران. (mheshmat@ut.ac.ir)
- ۲- دانش‌آموخته دکتری جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران. (rousta.t@ut.ac.ir)
- ۳- دانشیار گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران. (aknazari@ut.ac.ir)
- ۴- استاد بخش اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. (zibaei@shirazu.ac.ir)
- ۵- استاد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران. (attarod@ut.ac.ir)
- ۶- استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی فارس، ایران. (sbordbar86@gmail.com)

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۰۹

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۵/۱۳

### چکیده

این پژوهش با هدف برآورد ارزش اقتصادی تولید کیفیت آب (فیزیکی-شیمیایی) در جنگل‌های بلوط استان فارس انجام شد. برای ارزش‌گذاری تولید کیفیت آب از روش‌های هزینه خدمت جانشین (تصفیه آب) و هزینه پیشگیری‌شده بهره گرفته شد. ارزش اقتصادی تولید کیفیت آب بر اساس تابع موجود تولید کیفیت آب و تولید سالانه آب باکیفیت در جنگل‌های منطقه پژوهش و نیز تابع هزینه تصفیه آب برآورد شد. تولید سالانه آب باکیفیت (رواناب و ذخیره آب در خاک) به کمک واسنجی و شبیه‌سازی مدل وب (WEPP) در جنگل‌های منطقه پژوهش محاسبه شد. تابع هزینه تصفیه آب به کمک تابع ترانس لوگ و داده‌های ۱۹ تصفیه‌خانه کشور به قیمت‌های جاری سال ۱۳۹۶ برآورد شد. نتایج نشان داد، تولید سالانه آب باکیفیت در جنگل‌های بلوط فارس ۲۵۷۳ مترمکعب درهکتار است و با هر یک درصد افزایش تاج‌پوشش جنگلی، هزینه تصفیه هر مترمکعب آب ۰/۱۱ درصد کاهش می‌یابد. بر این اساس، کمینه ارزش اقتصادی تولید کیفیت آب در جنگل‌های بلوط فارس با نرخ خالص تنزیل ۲ درصد و به قیمت‌های جاری سال ۱۳۹۶، ۶۰۵ میلیون ریال در هکتار برآورد شد.

**واژه‌های کلیدی:** تابع کیفیت آب، تابع هزینه تصفیه آب، مدل وب، نمایه کیفیت آب، هزینه خدمت جانشین.

## مقدمه

و همکاران (2013) ارزش سالانه تولید کیفیت آب در جنگل را نسبت به اکوسیستم شهری و به کمک هزینه خدمت جانشین (تصفیه آب)، ۱۲۳/۸ تا ۲۵۱/۹ دلار در هکتار برآورد کردند. به علاوه، ارزش سالانه تولید کیفیت آب در جنگل بر اساس هزینه تمام شده تولید آب آشامیدنی (هزینه‌های تصفیه و دسترسی) ۶۲/۲ تا ۱۶۱/۲ دلار در هکتار (Núñez et al., 2006)، براساس ارزش گذاری مشروط ۱۵/۲۲ تا ۳۱/۲۲ دلار در هکتار (Boyer and Polasky, 2004) و بر مبنای روش انتقال منافع ۳/۶۴ تا ۶۵/۹ دلار در هکتار برآورد شده است (Cude, 2001).

در روش‌های ارزش گذاری به کار گرفته شده، اثر تاج پوشش جنگل (Forest Crown Cover; FCC) بر تولید کیفیت آب کمتر بررسی شده است (Ernst et al., 2004; Freeman et al., 2008; Warzaniack et al., 2017; Brogna et al., 2017; Mastrorilli et al., 2018). با این حال، برآورد ارزش تولید کیفیت آب بر اساس مقدار تاج پوشش جنگل برای تحلیل هزینه-فایده طرح‌های احیا و غنی سازی جنگل و نیز جستجوی حد بهینه تاج پوشش جنگل ضروری است (Heshmatol Vaezin et al., 2014). از این رو، هدف از این پژوهش برآورد ارزش تولید کیفیت آب بر اساس مقدار تاج پوشش جنگلی با استفاده از روش هزینه خدمت جانشین در جنگل‌های بلوط فارس است.

## مواد و روش‌ها

## منطقه پژوهش

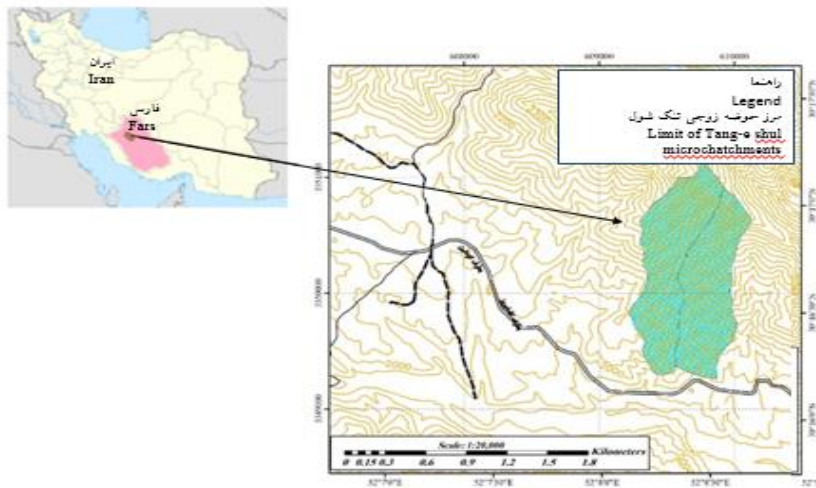
جنگل‌های طبیعی بلوط حوضه تنگشول در کامفیروز فارس منبع تأمین آب رودخانه‌های شول و تغذیه رود کر است. آب‌های خروجی از این جنگل‌ها بعد از پیوستن به رود کر در پشت سد درودزن تجمع می‌یابد

اکوسیستم‌های جنگلی یکی از منابع مهم آب شرب محسوب می‌شوند (Ekhuemelo et al., 2016). ۵۰ درصد بارش ایران در ۲۴ درصد از سطح کشور می‌بارد (Hasanzadeh and Izadi Jeyran, 2009)؛ بخشی به نسبت پر باران که جنگل‌های ایران را نیز در بر می‌گیرد. از این رو، جنگل‌ها ۸/۸ درصد از سطح (FAO, 2020) و دست کم ۱۸ درصد از حجم بارش کشور را در بر می‌گیرد. به همین ترتیب، جنگل‌های زاگرس و ارتفاعات مکران سرچشمه ۵۰ درصد از آب‌های تجدیدپذیر کشور محسوب می‌شود. به طور کلی جنگل‌ها به شدت بر کیفیت آب‌های سطحی و ذخیره شده و در نتیجه بر هزینه تصفیه آب تأثیرگذارند (Núñez et al., 2006; Figuepron et al., 2013). هر یک درصد تغییر پوشش جنگلی یا FC (Forest cover) سبب ۳/۹ تا ۱۸ درصد تغییر کدورت آب (Warzaniack et al., 2016)، ۰/۷۲ درصد تغییر نمایه کیفیت آب (Freeman et al., 2008) و دو درصد تغییر هزینه تصفیه آب (Ernst et al., 2004) می‌شود. با این حال، ارزش تولید کیفیت آب به دلیل ماهیت عمومی آن و فقدان بازار عملاً نادیده گرفته می‌شود و به این ترتیب، تولید این خدمت در اثر مدیریت نامناسب، تخریب و تغییر کاربری جنگل به کشاورزی و مسکونی در حال کاهش است (MEA, 2005). ارزش گذاری خدمات اکوسیستمی می‌تواند به کاهش تخریب و تغییر کاربری جنگل و نیز توجیه اقتصادی طرح‌های حفظ، احیا و توسعه جنگل‌ها کمک کند (Melissa, MEA, 2005; Dudley and Stolton, 2003). (et al., 2014).

ارزش اقتصادی تولید کیفیت آب در جنگل با استفاده از روش‌های مختلفی برآورد شده است. Elias

شیب ۴۱/۲ درصد، حوضه‌ای کوچک، مرتفع و پرشیب محسوب می‌شود. حوضه نمونه نیز با مساحت ۴۹/۹ هکتار، ارتفاع متوسط ۲۱۲۱/۳ متر از سطح دریای آزاد و شیب ۴۰/۱ درصد، همچون حوضه شاهد حوضه‌ای کوچک، مرتفع و پرشیب محسوب می‌شود. در هر دو حوزه خاک‌های لوم، لوم شنی و لوم رسی وجود داشته و پوشش گیاهی نیز شامل گونه‌های جنگلی بلوط با وضعیت نیمه‌انبوه تا تنک و گونه‌های مرتعی گون و گوش‌بره با وضعیت فقیر است.

و منبع تأمین آب شرب شهر شیراز، مرودشت و بخشی از مناطق اطراف است. این بررسی در حوضه-های آبخیز زوجی تنگ‌شول انجام شد. منطقه پژوهش در شمال غربی استان فارس و از نظر موقعیت جغرافیایی در گستره ۶۰۹۲۲۲ تا ۶۱۰۱۲۷ متر طول شرقی و ۳۳۴۹۳۱۰ تا ۳۳۵۱۱۳۳ متر عرض شمالی منطقه ۳۹ سامانه UTM معادل ۵۲°۸' تا ۵۲°۹' طول شرقی و ۳۰°۱۶' تا ۳۰°۱۷' عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). حوضه شاهد با مساحت ۵۷/۷ هکتار، ارتفاع متوسط ۲۱۵۵/۶ متر از سطح دریای آزاد و



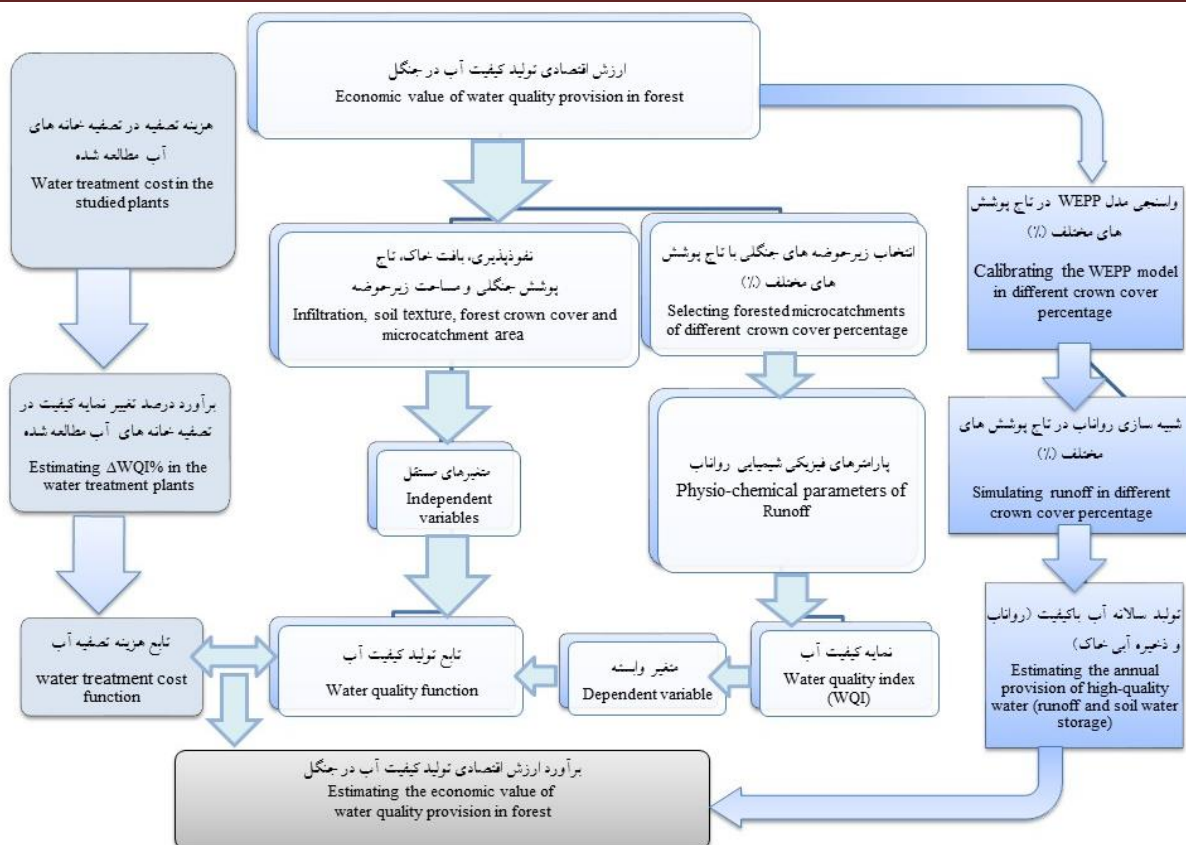
شکل ۱- منطقه پژوهش

Figure 1. Study site

و ذخیره آب در خاک) برآورد شد (شکل ۲). از آنجا که تابع تولید کیفیت آب در جنگل‌های منطقه مورد بررسی بیشتر برآورد شده است (Rousta et al., 2018)، این بررسی به برآورد کمیت آب، تابع هزینه تصفیه آب و ارزش‌گذاری تولید کیفیت آب در جنگل‌های منطقه پژوهش می‌پردازد.

#### روش پژوهش

تاج‌پوشش جنگلی بر کمیت (ذخیره و جریان) و کیفیت آب‌های سطحی و ذخیره شده در جنگل و در نتیجه بر هزینه‌های تصفیه آب تأثیر می‌گذارد. از این-رو، ارزش اقتصادی تولید کیفیت آب بر اساس تابع تولید کیفیت آب در جنگل، تابع هزینه تصفیه آب و تولید سالانه آب باکیفیت در هر هکتار جنگل (رواناب



شکل ۲- روند نمای پژوهش

Figure 2. Research Flowchart

WQI) نامیده می شود که برای آب قابل شرب عددی بین صفر تا ۱۰۰ است و هرچه از ۱۰۰ بیشتر باشد، آب غیرقابل شرب بوده و کیفیت آب نیز بدتر می شود. در این بررسی از تابع تولید کیفیت آب در جنگل های بلوط منطقه پژوهش (تنگشول فارس) بهره گرفته شد (Rousta *et al.*, 2018). این تابع، اثر تاج پوشش جنگلی بر نمایه کیفیت آب را نسبت به کاربری جایگزین (مرتع فقیر) ارزیابی می کند.

برآورد تولید سالانه آب باکیفیت در جنگل تولید سالانه آب باکیفیت در جنگل را می توان برابر مجموع رواناب های حاصل از بارش (R) و مقدار ذخیره آب در خاک در یک سال آبی (I) در نظر گرفت (Biao *et al.*, 2010, Ernst *et al.*, 2004). برای برآورد رواناب در

### تابع تولید کیفیت آب

کیفیت آب تابع ویژگی های فیزیکی، شیمیایی و زیستی بسیار متنوعی مانند اسیدیته، سختی کل، مقدار مواد جامد محلول و نیترات است که برای شرب انسان بسیار ضروری است (Canter, 1996). واحد اندازه گیری و مقدار استاندارد این ویژگی ها نیز با یکدیگر متفاوت است. از این رو، ارزیابی کیفیت آب تنها به کمک یک نمایه ترکیبی استاندارد شده از تمام ویژگی ها و بر اساس استانداردهای سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2017) یا استاندارد ۱۰۵۳ آب آشامیدنی کشور (ISIRI, 2008) قابل اندازه گیری است (Sheikhi *et al.*, Yogendra and Pouttaiah, 2008). این نمایه ترکیبی استاندارد، نمایه کیفیت آب (Water Quality Index -

هزینه تصفیه آب در پژوهش‌های مختلف اغلب به- صورت تابع لگاریتمی دوطرفه‌ای (ترانس لوگ) از نوع کاربری زمین، نوع سیستم تصفیه‌خانه، دبی خروجی و کیفیت آب ورودی برآورد شده است (Freeman et al., 2008, Warzaniack et al., 2014). در این پژوهش اما کاربری زمین و سیستم‌های تصفیه‌خانه‌ها مشابه بود و بنابراین، هزینه تصفیه آب تابعی از درصد تغییر نمایه کیفیت آب ورودی به تصفیه‌خانه (مقدار تصفیه مورد نیاز) و دبی خروجی (برای لحاظ صرفه‌جویی مقیاس) در نظر گرفته شد (Heshmatol Vaezin et al., 2014).

برآورد ارزش اقتصادی تولید کیفیت آب در جنگل به کمک روش‌های هزینه خدمت جانشین (Substitute cost method) و هزینه پیشگیری شده (Avoided cost method)

برآورد هزینه تولید یک خدمت غیربازاری از برآورد منافع ناشی از آن ساده‌تر و کم‌هزینه‌تر است. از این رو، استفاده از روش‌های هزینه خدمت جانشین و هزینه پیشگیری شده بر روش‌های مبتنی بر قیمت‌های غیربازاری (ارزش‌گذاری مشروط) اولویت دارد (Kengen, 1997). روش هزینه خدمت جانشین کمینه ارزش یک خدمت اکوسیستمی را بر اساس کمینه هزینه تولید بهترین خدمت بازاری جانشین آن در شرایط مشابه برآورد می‌نماید. به این ترتیب، با حفظ این خدمت اکوسیستمی (تولید کیفیت آب) از هزینه تولید آن با روش جانشین (تصفیه آب) پیشگیری می‌شود (روش هزینه پیشگیری شده). در نتیجه، هزینه خدمت جانشین (تصفیه آب) کمینه ارزش خدمت اکوسیستمی (تولید کیفیت آب) را برای جامعه نشان می‌دهد. هرچه درجه جانشینی بین دو خدمت بیشتر باشد، هزینه تولید خدمت جانشین معرف بهتری از ارزش خدمت اکوسیستمی است (Kengen, 1997).

جنگل‌های بلوط فارس با متوسط تاج‌پوشش جنگلی ۲۰ درصد، از نتایج شبیه‌سازی مدل واسنجی شده وپ (WEPP) یا پروژه پیش‌بینی فرسایش آبی در منطقه پژوهش بهره گرفته شد (Rousta, 2018). واسنجی مدل به کمک اندازه‌گیری‌های رواناب در منطقه با استفاده از سرریز و پارشال فلوم و دستگاه اندازه‌گیری و ثبت خودکار دبی در طول یک سال آبی انجام شد. در پایان، مدل WEPP به کمک ضریب هدایت آبی اشباع خاک (Ks) برای منطقه واسنجی و سپس مقدار رواناب در جنگل‌های منطقه با متوسط تاج‌پوشش ۲۰ درصد برآورد شد.

به‌همین ترتیب، برای برآورد مقدار ذخیره آب در خاک از ضریب هدایت آبی اشباع خاک (Ks) به میلی‌متر بر ساعت و مجموع زمان رخدادهای بارش سالانه (T) بر حسب ساعت (رابطه ۱) بهره گرفته شد (Mahdavi, 2013).

رابطه (۱)  $I = Ks * T$   
در پایان، مقدار آب باکیفیت در جنگل از حاصل جمع مقدار رواناب و ذخیره آب در خاک برآورد شد.

برای برآورد ضریب هدایت آبی اشباع خاک در منطقه پژوهش از دستگاه نفوذسنج صفحه‌ای یا دیسک پرماتر بهره گرفته شد. این دستگاه توسط Perroux و همکاران (1988) طراحی شده است. این دستگاه نسبت به روش استوانه مضاعف سبک‌تر بوده و حمل آن به عرصه راحت‌تر است، ضمن اینکه حجم آب مورد نیاز برای کار با این دستگاه نیز بسیار کم است (Perroux et al., 1988, Mohanty et al., 1994). با استفاده از این روش، متوسط ضریب هدایت آبی اشباع خاک در جنگل‌های منطقه پژوهش با متوسط تاج-پوشش ۲۰ درصد برآورد شد.

برآورد تابع هزینه تصفیه آب

خاک شنی لومی است. در این رابطه ضریب منفی نشان دهنده بهبود و ضریب مثبت نشان دهنده تخریب وضعیت کیفیت آب است. بر اساس این تابع، افزایش هر یک درصد تاج پوشش جنگلی نمایه کیفیت آب را ۰/۸ درصد (نسبت به میانگین داده‌ها) افزایش می‌دهد. به همین ترتیب، افزایش تاج پوشش جنگلی از ۰ (پوشش مرتعی) به ۲۰ درصد (متوسط تاج پوشش جنگلی در منطقه پژوهش) نمایه کیفیت آب را ۹۷.۵ درصد ( $\Delta WQI\%$ ) افزایش می‌دهد.

#### برآورد تولید سالانه آب با کیفیت در جنگل

جدول ۱ نتیجه شبیه‌سازی مقدار رواناب، مقدار ذخیره آب در خاک و تولید سالانه آب با کیفیت را در جنگل‌های بلوط (با تاج پوشش متوسط ۲۰ درصد) و مراتع منطقه پژوهش نشان می‌دهد.

بر اساس جدول ۱، مقدار رواناب در پوشش مرتعی ۲/۳ برابر مقدار رواناب در جنگل‌های بلوط منطقه پژوهش (با تاج پوشش متوسط ۲۰ درصد) است. به همین ترتیب، مقدار ذخیره آبی خاک در جنگل‌های بلوط منطقه (با تاج پوشش متوسط ۲۰ درصد) ۲/۶ برابر پوشش مرتعی جایگزین است. بنابراین، تولید سالانه آب با کیفیت در جنگل‌های بلوط (مجموع رواناب و ذخیره آب در خاک)، ۲۵۷۳ مترمکعب در هکتار برآورد شد. مقایسه تولید سالانه آب با کیفیت در پوشش مرتعی و جنگلی منطقه پژوهش نیز نشان می‌دهد که پوشش جنگلی به دلیل کاهش تبخیر و تعرق و رواناب، ۱/۶ برابر پوشش مرتعی جایگزین (معادل ۹۸۶ مترمکعب در هکتار در سال) آب با کیفیت تولید می‌کند.

#### برآورد تابع هزینه تصفیه آب

جدول‌های ۲ و ۳ آماره‌های توصیفی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده آب ورودی و خروجی ۱۹ تصفیه‌خانه مطالعه شده را نشان می‌دهد.

به علاوه، پیش فرض این روش‌ها آن است که خدمت بازاری جانشین عملاً در شرایط نبود یا کمبود خدمت غیربازاری به کار می‌رود. از این رو، جنگل‌های منطقه پژوهش (با تاج پوشش متوسط ۲۰ درصد) نمایه کیفیت آب را معادل  $\overline{\Delta WQI\%}$  بهبود می‌دهند (در مقایسه با مراتع فقیر منطقه با تاج پوشش جنگلی صفر درصد) و در نتیجه، از هزینه لازم برای ایجاد این بهبود کیفی ( $C(\overline{\Delta WQI\%})$  در تصفیه‌خانه پیشگیری می‌شود. به این ترتیب، کمینه ارزش اقتصادی سالانه (AV) و ارزش اقتصادی (V) تولید کیفیت آب در هر هکتار از جنگل‌های منطقه از رابطه‌های ۲ و ۳ به دست می‌آید.

$$AV = C(\overline{\Delta WQI\%}) * (I + R) \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$V = \frac{AV}{r} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که  $C(\overline{\Delta WQI\%})$  هزینه  $\overline{\Delta WQI\%}$  بهبود کیفیت آب در تصفیه‌خانه (ریال به متر مکعب) و  $r$ : نرخ خالص تنزیل بلندمدت است که دست کم دو درصد در نظر گرفته می‌شود (Heshmatol Vaezin, 2006). در نهایت، ارزش اقتصادی سالانه و ارزش اقتصادی تولید کیفیت آب به جنگل‌های منطقه پژوهش به وسعت ۱۲۴۶۴ هکتار تعمیم یافت.

## نتایج

### تابع تولید کیفیت آب

به این منظور از تابع تولید کیفیت آب در جنگل‌های بلوط منطقه پژوهش بهره گرفته شد (Rousta et al., 2018).

$$\ln(WQI) = 2.6 + 0.14\ln(\text{Area}) - 0.8\ln(\text{FCC}) + 0.18(D_2) - 0.27(D_3) \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن WQI، نمایه کیفیت آب (بی بعد)، Area مساحت زیر حوضه (هکتار)، FCC درصد تاج-پوشش جنگلی،  $D_2$  متغیر دوگانه (صفر و یک) سازند زمین‌شناسی آجاجاری و  $D_3$  متغیر دوگانه (صفر و یک)

جدول ۱- تولید سالانه آب باکیفیت (مجموع ذخیره آب در خاک و رواناب) در پوشش جنگلی (۲۰ درصد تاج پوشش) و مرتعی منطقه پژوهش

Table 1. Annual provision of high-quality water (runoff and soil water storage) in the oak forests of 20% crown cover and the rangelands of the studied region

| تولید سالانه آب باکیفیت<br>Annual provision of high-quality water m <sup>3</sup> /ha | ذخیره آب در خاک<br>Soil water storage m <sup>3</sup> /ha | طول بارش<br>Precipitation duration hour | هدایت هیدرولیکی اشباع خاک<br>Saturated hydraulic conductivity of the soil mm/h | رواناب<br>Runoff m <sup>3</sup> /ha | بارش<br>Precipitation mm | درصد تاج- پوشش جنگلی<br>Forest crown cover (%) | نوع پوشش<br>Land cover                |
|--|--|---|--|-------------------------------------|--------------------------|--|---------------------------------------|
| 1587   | 874  | 38                                      | 2.3  | 713                                 | 370                      | 0  | مرتعی<br>Rangeland                    |
| 2573   | 2242   | 38                                      | 5.9  | 331                                 | 370                      | 20   | جنگلی<br>Forest                       |
| +986   | +1368  |   |  | -381                                | 0                        | + 20   | اثر پوشش جنگلی<br>Forest Cover effect |

جدول ۲- آماره‌های توصیفی ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی آب ورودی به تصفیه‌خانه‌های مطالعه شده (به جز pH و EC، میکروموس بر سانتی‌متر، واحد اندازه گیری میلی گرم بر لیتر می باشد)، (N=۱۹)

Table 2. Descriptive statistics of physico-chemical parameters of the input water in the studied water treatment plants (Except for pH and EC, micromuse/centimeters, unit of measurement is mg/lit), (N=19)

| ضریب تغییرات (درصد)<br>Coefficient of variation | میانگین<br>Mean | کمینه<br>Minimum | بیشینه<br>Maximum | ویژگی<br>Parameter         |
|---|-----------------|------------------|-------------------|----------------------------|
| 21  | 276             | 110              | 411               | هدایت الکتریکی<br>EC       |
| 26  | 275             | 185              | 614               | کل مواد جامد<br>TDS        |
| 3.8   | 7.8             | 6.8              | 8.2               | اسیدیته<br>pH              |
| 32  | 124             | 48.4             | 259               | کلسیم<br>Ca <sup>2+</sup>  |
| 62.6  | 27              | 4                | 59.5              | منیزیم<br>Mg <sup>2+</sup> |
| 56.5  | 41.3            | 14               | 96                | سدیم<br>Na <sup>+</sup>    |
| 33.6  | 29.4            | 15               | 55                | کلر<br>Cl <sup>-</sup>     |

ادامه جدول ۲.

Continued table 2.

| ضریب تغییرات (درصد)<br>Coefficient of variation | میانگین<br>Mean | کمینه<br>Minimum | بیشینه<br>Maximum | ویژگی<br>Parameter                      |
|---|-----------------|------------------|-------------------|---|
| 34.5  | 61              | 23               | 162               | سولفات<br>So <sub>4</sub> <sup>2-</sup> |
| 29.1  | 227.4           | 109              | 414               | سختی کل<br>TH                           |
| 18.9  | 5.2             | 2.5              | 7.9               | نترات<br>NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>   |
| 61  | 2.3             | 0.7              | 6                 | کدورت<br>Turbidity                      |
| 44.8  | 45.55           | 22.2             | 95.6              | نمایه کیفیت آب<br>WQI                   |

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، سختی کل آب ورودی به تصفیه‌خانه از حد استاندارد بیشینه مقدار نمایه کیفیت آب و نیز بیشینه مقدار ویژگی‌های کدورت، هدایت الکتریکی، منیزیم و

جدول ۳- آماره‌های توصیفی ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی آب خروجی از تصفیه‌خانه‌های مطالعه‌شده (به جز pH و EC، میکروموس بر سانتی‌متر، واحد اندازه‌گیری میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد)، (N=۱۹)

Table 2. Descriptive statistics of physico-chemical parameters of the output water in the studied water treatment plants (Except for pH, and EC, micromuse/centimeters, unit of measurement is mg/lit), (N=19)

| ضریب تغییرات (درصد)<br>Coefficient of variation | میانگین<br>Mean | کمینه<br>Minimum | بیشینه<br>Maximum | ویژگی<br>Parameter                      |
|---|-----------------|------------------|-------------------|---|
| 55.9  | 215             | 100              | 312               | هدایت الکتریکی<br>EC                    |
| 40  | 218.7           | 100              | 511.5             | کل مواد جامد<br>TDS                     |
| 2.2   | 7.3             | 7.1              | 7.6               | اسیدیته<br>pH                           |
| 33.4  | 65.5            | 37.4             | 125.2             | کلسیم<br>Ca <sup>2+</sup>               |
| 60  | 17              | 3                | 38.3              | منیزیم<br>Mg <sup>2+</sup>              |
| 47.5  | 29.4            | 11.1             | 55                | سدیم<br>Na <sup>+</sup>                 |
| 36.4  | 19.5            | 8                | 35.6              | کلر<br>Cl <sup>-</sup>                  |
| 41.6  | 49              | 23               | 94.2              | سولفات<br>So <sub>4</sub> <sup>2-</sup> |
| 27.4  | 137.9           | 85               | 197.7             | سختی کل<br>TH                           |



ادامه جدول ۳.

Continued table 3.

| ضریب تغییرات (درصد)<br>Coefficient of variation | میانگین<br>Mean | کمینه<br>Minimum | بیشینه<br>Maximum | ویژگی<br>Parameter                     |
|---|-----------------|------------------|-------------------|--|
| 27  | 3.2             | 2.12             | 5                 | نیترات<br>NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |
| 29.7  | 0.5             | 0.3              | 1                 | کدورت<br>Turbidity                     |
| 22.6  | 16.9            | 11.36            | 24.6              | نمایه کیفیت آب<br>WQI                  |

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، عمده ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی در آب تصفیه شده، در حد استاندارد بوده و نمایه کیفیت آب نیز با میانگین ۱۶/۹ در طبقه کیفی عالی برای شرب انسان قرار می‌گیرد. جدول ۴ آماره‌های توصیفی متغیرهای استفاده شده در تابع هزینه تصفیه آب را نشان می‌دهد. نتایج برآورد تابع هزینه تصفیه آب در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۴- آماره‌های توصیفی متغیرهای مدل هزینه تصفیه آب (N=19)

Table 4. Descriptive statistics of variables used in water treatment cost function (N=19)

| ضریب تغییرات (درصد)<br>Coefficient of Variation | میانگین<br>Mean | کمینه<br>Minimum | بیشینه<br>Maximum | متغیر<br>Variable  |
|---|-----------------|------------------|-------------------|--|
| 5.97  | 4430            | 3950             | 4850              | هزینه تصفیه یک مترمکعب آب (ریال در متر مکعب)<br>Water treatment cost Rial/m <sup>3</sup>     |
| 26.6  | 57.61           | 26.26            | 77.3              | درصد تغییر نمایه کیفیت آب خروجی نسبت به ورودی<br>(ΔWQI%)<br>Percentage of WQI change         |
| 70.9  | 124.7           | 8                | 283               | دبی آب خروجی از تصفیه‌خانه به مترمکعب بر ثانیه (Q)<br>Output discharge (Q) m <sup>3</sup> /s |

جدول ۵- نتیجه برآورد تابع هزینه تصفیه آب

Table 5. Water treatment cost function

| P-value | t-Student | ضریب برآورد شده<br>B | متغیر<br>Variable  |
|---------|-----------|----------------------|--|
| 0.000   | 4.9       | 0.143**              | لگاریتم درصد تغییر نمایه کیفیت آب خروجی نسبت به ورودی<br>Ln (ΔWQI%)              |
| 0.66    | 0.43      | -0.004               | لگاریتم دبی آب خروجی از تصفیه‌خانه به مترمکعب بر ثانیه<br>LnOutput discharge (Q) |
| 0.000   | 46.6      | 5.517**              | مقدار ثابت<br>Constant   |
|         | 0.6       |                      | R <sup>2</sup>   |

\*\*Significant

\*\* معنی‌دار در سطح یک درصد.

افزایش تاج پوشش جنگلی هزینه‌های تصفیه آب را ۰/۱۱ درصد کاهش می‌دهد (نسبت به متوسط داده‌ها). ارزش‌گذاری تولید کیفیت آب در جنگل به کمک روش‌های هزینه خدمت جانشین و هزینه پیشگیری شده ارزش اقتصادی سالانه و ارزش اقتصادی تولید کیفیت آب در جنگل‌های منطقه (با تاج‌پوشش متوسط ۲۰ درصد) بر اساس تابع تولید کیفیت آب و تابع هزینه تصفیه آب برآورد شد (جدول ۶).

با توجه به جدول ۵، تنها متغیر درصد تغییر نمایه کیفیت آب خروجی نسبت به ورودی ( $\Delta WQI\%$ )، در سطح یک درصد معنی‌دار به دست آمد. به این ترتیب تابع هزینه کیفیت آب به صورت رابطه ۵ ارائه شد.

$$\text{رابطه (۵)} \quad Ln(C) = 5.517 + 0.143Ln(\Delta WQI\%)$$

رابطه ۵ نشان می‌دهد برای افزایش یک درصد نمایه کیفیت آب، هزینه تصفیه ۰/۱۴ درصد افزایش می‌یابد (نسبت به متوسط داده‌ها). به علاوه، بر اساس رابطه ۴، ۱ درصد افزایش تاج پوشش جنگل نمایه کیفیت آب را ۰/۸ درصد بهبود می‌بخشد. بنابراین، یک درصد

جدول ۶- ارزش اقتصادی تولید کیفیت آب در جنگل‌های بلوط منطقه پژوهش

Table 6. Valuing water quality provision in the studied oak forests

|         |  |
|---------|--|
| 97.5    | تولید کیفیت آب در جنگل در مقایسه با کاربری جایگزین به درصد (مرتفع فقیر) ( $\Delta WQI\%$ )<br>Water quality provision in forest compared to alternative land use (poor rangelands) in %                  |
| 4702    | هزینه بهبود کیفیت آب ( $\Delta WQI\%$ ) در تصفیه‌خانه (ریال در مترمکعب)<br>Cost of water quality improvement in water treatment plants (IRR/m <sup>3</sup> )   |
| 2573    | تولید سالانه آب با کیفیت در جنگل (مترمکعب در هکتار در سال)<br>Annual provision of high-quality water (runoff and soil water storage) in forest (m <sup>3</sup> /ha/y)                                    |
| 12      | ارزش اقتصادی سالانه تولید کیفیت آب در جنگل (میلیون ریال در هکتار در سال)<br>Annual economic value of water quality provision in forest (Million IRR/ha/yr)   |
| 605     | ارزش اقتصادی تولید کیفیت آب در جنگل (میلیون ریال در هکتار)<br>Economic value of water quality provision in forest (Million IRR/ha)   |
| 150793  | ارزش سالانه تولید کیفیت آب در جنگل‌های بلوط منطقه پژوهش به سطح ۱۲۴۶۴ هکتار (میلیون ریال در سال)<br>Annual economic value of water quality provision in the studied oak forests of 12464 ha (Million IRR) |
| 7539627 | ارزش اقتصادی تولید کیفیت آب در جنگل‌های بلوط منطقه پژوهش به سطح ۱۲۴۶۴ هکتار (میلیون ریال)<br>Economic value of water quality provision in the studied oak forests of 12464 ha (Million IRR)              |

۶۰۵ میلیون ریال در هکتار برآورد می‌شود. به این ترتیب، با در نظر گرفتن سطح ۱۲۴۶۴ هکتاری منطقه، ارزش اقتصادی سالانه و ارزش اقتصادی تولید کیفیت آب در جنگل‌های بلوط منطقه پژوهش به قیمت‌های سال ۱۳۹۶ به ترتیب به ۱۵۱ و ۷۵۴۰ میلیارد ریال بالغ می‌شود.

بر اساس جدول ۶، در صورت از بین رفتن جنگل‌های منطقه (با تاج‌پوشش ۲۰ درصد)، هزینه تولید کیفیت آب به کمک خدمت جانشین (تصفیه آب) به قیمت‌های سال ۱۳۹۶ معادل ۴۷۰۲ ریال در هر متر مکعب می‌باشد که با وجود جنگل، این هزینه پیشگیری می‌شود. بنابراین ارزش اقتصادی سالانه و ارزش اقتصادی تولید کیفیت آب در جنگل‌های بلوط منطقه پژوهش به قیمت‌های سال ۱۳۹۶ به ترتیب ۱۲ و

## بحث

۷/۶ میلیون ریال در هکتار در سال (۱۲۳/۸ تا ۲۵۱/۹ دلار) برآورد شده است که با نتایج این پژوهش (۱۲ میلیون ریال در هکتار در سال) همخوانی دارد. در پژوهش Mastroilli و همکاران (2018) ارزش سالانه تولید کیفیت آب در هر هکتار جنگل در در مقایسه با کاربری کشاورزی به کمک روش هزینه خدمت جانشین (تصفیه آب) با نرخ متوسط یورو در نظام یکپارچه معاملات ارزی (حدود ۹۵۰۰۰ ریال) در سال ۲۰۱۸، حدود ۱/۳ میلیون ریال (۱۳/۴۸ یورو) در هکتار در سال برآورد شده است که تقریباً یک دهم ارزش برآوردی در این مطالعه است. به نظر می‌رسد اختلاف ارزش‌های برآوردی ممکن است ناشی از میزان کمیابی آب با توجه به نوع اقلیم، اختلاف در گزینه مرجع (مرتفع فقیر، کشاورزی و شهری)، ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه پژوهش (برای نمونه، سازند آهکی در این پژوهش)، تفاوت روش ارزش‌گذاری به‌کار گرفته شده، سطح فناوری، هزینه‌ها و نیز سطح توسعه و شرایط اقتصادی کشورها (به ویژه نرخ ارز) باشد. برای نمونه، ارزش آب و کیفیت آب در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک مانند ایران در مقایسه با اقلیم‌های مرطوب‌تر بیشتر است. به همین ترتیب، کاربری کشاورزی و به‌ویژه کاربری شهری آلودگی و هزینه تصفیه بیشتری ایجاد می‌کند (Hasic and Wu, 2006). در نتیجه، ارزش تولید کیفیت آب در مقایسه با کاربری‌های آلوده کننده شهری و کشاورزی بسیار بیشتر است (Elias et al., 2013). از آنجا که در بسیاری از موارد کاربری جایگزین جنگل، کشاورزی است (Beygi Heidarlou et al., 2018)، ارزش برآورد شده در این پژوهش (که در مقایسه با مرتع فقیر سنجیده شده)، بسیار کمتر از ارزش واقعی تولید کیفیت آب است. علاوه بر این، ارزش‌گذاری با هزینه تولید خدمت جانشین به‌طور مستقیم منافع

نتایج تابع هزینه تصفیه آب نشان داد کاهش هر یک درصد کیفیت آب موجب افزایش ۰/۱۴ درصدی هزینه تصفیه آب می‌شود. در پژوهش Warzaniack و همکاران (2016) هر یک درصد کاهش کیفیت آب موجب افزایش ۰/۱۹ درصدی هزینه‌های تصفیه شده است. به نظر می‌رسد که تفاوت سطح فناوری تصفیه آب و نیز شرایط اقتصادی کشورها می‌تواند این تفاوت‌ها را توضیح دهد. در پژوهش Holmes و همکاران (1998) نیز با افزایش یک درصد کدورت هزینه‌های تصفیه ۰/۰۷ درصد افزایش می‌یابد. در پژوهش ایشان تنها هزینه‌های کاهش کدورت در نظر گرفته شده که کمتر بودن مقدار آن در مقایسه با نتایج این بررسی که شامل بیشتر ویژگی‌های کیفی آب است، منطقی است. بر اساس نتایج تابع‌های تولید و هزینه، هر یک درصد افزایش تاج‌پوشش جنگلی نمایه کیفیت آب را ۰/۸ درصد افزایش می‌دهد و هر یک درصد بهبود نمایه کیفیت آب، هزینه تصفیه آب را ۰/۱۴ درصد کاهش می‌دهد (نسبت به میانگین داده‌ها). در نتیجه، هر یک درصد تاج‌پوشش جنگلی هزینه تصفیه آب را ۰/۱۱ درصد کاهش می‌دهد. بنابراین، پوشش جنگلی منطقه با تاج‌پوشش ۲۰ درصد به‌طور متوسط ۲/۲ درصد هزینه‌های تصفیه آب را کاهش می‌دهد که دقیقاً با نتایج Ernst و همکاران (2004) مطابقت دارد. نتیجه ارزش‌گذاری نشان می‌دهد ارزش اقتصادی سالانه و ارزش اقتصادی تولید کیفیت آب در هر هکتار از جنگل‌های بلوط منطقه پژوهش به ترتیب ۱۲ و ۶۰۵ میلیون ریال است. در پژوهش Elias و همکاران (2013) ارزش سالانه تولید کیفیت آب در هر هکتار جنگل در مقایسه با کاربری شهری به کمک روش هزینه خدمت جانشین (تصفیه آب) با نرخ متوسط دلار ۳۰۰۰۰ ریال در سال ۲۰۱۳، معادل ۳/۷ تا

این بررسی درصد تاج‌پوشش و نه درصد پوشش جنگلی (Brojna et al., 2017) مورد توجه قرار شده است. درصد پوشش جنگلی درصد سطح جنگلی از سطح منطقه را نشان می‌دهد در حالی که درصد تاج-پوشش، درصد سطح تاج‌پوشش از سطح منطقه جنگلی است. با توجه به اینکه منطقه پژوهش کاربری جنگلی دارد محاسبه درصد پوشش جنگلی موضوعیت نداشت و صرفاً از متغیر درصد تاج‌پوشش جنگل بهره گرفته شد. به‌علاوه، متغیر درصد تاج‌پوشش جنگل، اثر مدیریت جنگل بر ارزش‌های برآوردشده را نشان می‌دهد که در پژوهش‌های ارزش‌گذاری کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. ایجاد رابطه ارزش خدمات با مدیریت منبع، ارزش‌گذاری را از حالت انتزاعی خارج می‌کند و به کاربرد ارزش‌گذاری در مدیریت، احیا و توسعه جنگل‌ها کمک خواهد کرد. برآورد ارزش تولید کیفیت آب (فیزیکی، شیمیایی و زیستی) در جنگل-های کشور به‌ویژه در مقایسه با کاربری‌های کشاورزی و مسکونی ضروری به‌نظر می‌رسد.

#### تشکر و قدردانی

نگارندگان بر خود لازم می‌دانند از جناب آقای دکتر خالد احمدآلی عضو محترم هیأت علمی گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی دانشگاه تهران، به‌خاطر بازبینی متن مقاله و هم‌فکری در بخش برآورد مقدار نفوذ آب تشکر و قدردانی کنند. همچنین از نقش مثبت و مؤثر سرکار خانم مهندس شهربانو عباسی دانشجوی دکتری گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی در کمک به اجرای مدل WEPP واز همکاری‌های جناب آقای مهندس محمدعلی قیطاسی مسئول حوزه‌های زوجی تنگ‌شول استان فارس صمیمانه سپاسگزاریم.

حاصل از تولید کیفیت آب را نشان نمی‌دهد بلکه صرفاً برآوردی از کمینه ارزش این خدمت را به‌دست می‌دهد. با این حال، تعمیم ارزش کمینه تولید کیفیت آب به جنگل‌های منطقه پژوهش، ارزش اقتصادی سالانه و ارزش اقتصادی قابل‌توجهی به‌ترتیب معادل ۱۵۱ میلیارد و ۷۵۴۰ میلیارد ریال نشان می‌دهد. در این صورت، ارزش سالانه خدمات این جنگل‌ها با توجه به تنوع و تعدد خدمات و نیز سطح وسیع این جنگل‌ها علی‌الاصول سهم قابل‌توجهی در اقتصاد دارد که باید در پژوهش‌های آتی و حساب‌های ملی کشور در نظر گرفته شود. در این پژوهش، مقدار ذخیره آب در خاک با استفاده از حاصل ضرب هدایت آبی اشباع خاک و مجموع زمان رخداد های بارش برآورد شد. در واقعیت اما بخشی از آب نفوذ یافته در اثر تبخیر و تعرق (مصرف گیاه) به جو باز می‌گردد. با این حال، به‌دلیل موجود نبودن ضریب گیاهی بلوط (Kc) در دستورالعمل فائو ۵۶ و دیگر پژوهش‌ها، مصرف آب توسط گونه بلوط در نظر گرفته نشد و کل مقدار آب نفوذ یافته معادل مقدار ذخیره آب در خاک در نظر گرفته شد. به‌علاوه، کل تولید سالانه آب باکیفیت ممکن است به مصرف شرب انسان نرسد و بخشی صرف کشاورزی در منطقه شود؛ هرچند با توجه به مشکلات کم‌آبی کشور، ارجحیت با مصرف شرب انسانی است. در پایان، برای ارزش‌گذاری می‌توان تنها مقدار رواناب جاری شده را به‌عنوان تولید آب با-کیفیت در نظر گرفت، اما این کار مقدار آب ذخیره شده را در نظر نمی‌گیرد و سبب کم برآورد شدن ارزش اقتصادی تولید کیفیت آب در جنگل می‌شود. بنابراین، در پژوهش حاضر مجموع مقدار نفوذ و رواناب به-عنوان مقدار آب باکیفیت در نظر گرفته شد (Ernst et al., 2010, Biao et al., 2004). برای برآورد ارزش اقتصادی کیفیت آب، در

## References

- Abildtrup, J., S. Garcia & A. Stenger, 2013. The effect of forest land use on the cost of drinking water supply: A spatial econometric analysis. *Ecological Economics*, 92: 126-136.
- Beygi Heidarlou, H., A. Banj Shafiei, M. Erfanian, A. Tayyebi & A. Alijanpour, 2019. Effects of preservation policy on land use changes in Iranian Northern Zagros forests. *Land Use Policy*, 81: 76-90.
- Biao, Z., L. Wenhua, X. Gaodi & X. Yu, 2010. Water conservation of forest ecosystem in Beijing and its value. *Ecological Economics*, 69(7): 1416-1426.
- Boyer, T., 2004. Polasky S., Valuing urban wetlands: A review of non-market valuation studies. *Wetlands*, 24: 744-755.
- Brogna, D., A. Michez, S. Jacobs, M. Dufrière, C. Vincke & N. Dendonker, 2017. Linking Forest Cover to Water Quality: A Multivariate Analysis of Large Monitoring Datasets. *Water*, 9: 176-193.
- Canter, L. W., 1996. Environmental Impact Assessment, 2nd Edition; McGraw-Hill Inc. New York, USA, p 660.
- Cude, C. G., 2001. Oregon water quality index: a tool for evaluating water quality management effectiveness. *Journal of the American Water Resources Association*, 37: 125-138.
- Daisy, N., N. Laura & O. Carlos, 2006. Forest and water: The Value of native temperature forest in supplying water for human consumption, *Ecological Economics*, 58: 606-612.
- Dudley, N. & S. Stolton, 2003. Running Pure: The Importance of Forest Protected Areas to Drinking Water. <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/15006/292830Running0pure.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (accessed March 15, 2007).
- Ekhuemelo, D.O., J. I. Amonum & I. A. Usman, 2016. Importance of forest and trees in sustaining water supply and rainfall. *Nigeria Journal of Education, Health and Technology Research*, 8: 273-280.
- Elias, E., D. Laband D. & M. Dougherty, 2013. Estimating the Public Water Supply Protection Value of Forests, *Journal of Contemporary Water Research & Education*, 152: 94-154.
- Ernst, C., R. Gullick & K. Nixon, 2004. Protecting the source, conserving forests to protect water. *American Water Works Association*, 30 (5): 3-7.
- FAO. 2020. FRA 2020 report, Iran (Islamic Republic of). Food and Agriculture Organization of United Nations Global Forest Resources Assessments/country reports 2020. <http://www.fao.org/documents/card/en/c/ca9825en> (accessed January 9, 2020).
- Figuepron, J., S. Garcia & A. Stanger, 2013. Land use impact on water quality: Valuing forest services in terms of the water supply sector. *Journal of Environmental Management*, 126: 113-121.
- Freeman D., R. Madsen & K. Har, 2008. Statistical analysis of drinking water treatment plan costs, source water quality, and land cover characteristics. Trust for Public Land.
- Hascic, I. & J. J. Wu, 2006. Land use and watershed health in the United States. *Land Economics*, 82 (2): 214-239.
- Heshmatol Vaezin, S.M., 2019. Economic model of forest management for even-aged, uneven-aged and in transition stands: illustrations in the case of the beech in the North -Eastern of France. PhD Thesis [Online], AgroParisTech, ENGREF, Nancy, France, 2006. <https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00002265> (accessed March 15, 2019)
- Kengen, S., 1997. Forest Valuation For Decision Making: Lessons of experience and proposals for improvement (S.M. Heshmatol Vaezin, Trans.). Food and Agricultural Organization of the United Nations: Rome, p 151. (In Persian).
- Hasanzadeh, D., & A. Izadi Jeyran, 2009. Sustainable Development in the Rural Communities of Iran. *Nameh-ye Olum-e Ejtemai*, 17 (36), 27-55. (In Persian)
- Heshmatol Vaezin S. M., D. Marage, S. Garcia, D. Kraus, P. Rougieux, A. Schuck & Harou, P., 2014. Provision cost function of forest biodiversity protection within French Natura 2000 network, EFI Technical Report 90; p 81.
- Holmes, TP., 1988. The offsite impact of soil erosion on the water treatment industry. *Land Economics*, 64(4): 356-366.
- ISIRI (Institute of standard and industrial research of Iran), 2008. Standard number 1053: Drinking Water, physical and chemical characteristics, ISIRI, 2008; p 12. (In Persian)

- Mahdavi, M., 2013. Applied Hydrology, 7th Ed.; Tehran, University of Tehran: Tehran, 439 p. (In Persian)
- Mastroianni, M. G. Rana, G. Verdiani, G. Tedeschi, A. Fumai & G. Russo, 2018. Economic evaluation of hydrological Ecosystem services in Mediterranean River Basins Applied to a case study in southern Italy, *Water*, 10(3): p.241.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment Program), 2005. Ecosystems and Human Well-Being Synthesis, World Resources Institute: Washington, DC, USA, p 68.
- Melissa M. K., C. A. Damian & J. E. Francisco, 2014. The Value of Forest Conservation for Water Quality Protection, *Forests*, 5: 862-884.
- Mohanty B. P., M. D. Ankeny, R. Horton & R. S. Kanwer, 1994. Spatial analysis of hydraulic conductivity measured using disc infiltrometers. *Water Resources Research*, 30: 2489-2498.
- Perroux K. M. & I. White, 1988. Design for disc permeameters. *Soil Science Society of America Journal*, 52: 1205-1215.
- Roustaa, T., 2018. Estimating Economic Value of soil Conservation and Water Retention/Storage in Tangh Shoul Oak Forests, Kamfirouz, Fars Province. Ph.D. Dissertation, University of Tehran, Karaj. (In Persian)
- Roustaa, T., A. A. Nazari Samani, S. M. Heshmatol Vaezin, S. k. Bordbar & P. Attarod, 2018. Determining of the Oak forests' role on protecting water quality based on the service function in Tang-e Shool, Fars. *Ecohydrology*, 5 (3): 843-853. (In Persian)
- Sheikhi Almanabad, Z., F. Asadzadeh & H. Pirkharati, 2017. Application of the DWQI Index for Comprehensive Quality Assessment in Ardebil water table. *Ecohydrology*, 4(2): 421-436. (In Persian)
- Warziniack, T., C. H. Sham, R. Morgan & Y. Feferholtz, 2017. Effect of forest cover on water treatment costs. *Water Economics and Policy*, 3(04): 1750006.
- WHO (World Health Organization), 2017. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. 4th ed.; World Health Organization: Geneva, p 541.
- Yogendra, K. & E. T. Pouttaiah, 2008. Determination of water quality Index and Suitability of an Urban Waterbody in Shimoga, The 12th World Lake Conference: Karantaka, pp.342-346.

## Estimating the economic value of water quality provision in the Fars oak forests (Iran)

S. M. Heshmatol Vaezin<sup>\*1</sup>, T. Rousta<sup>2</sup>, A. Nazari Samani<sup>3</sup>, M. Zibaei<sup>4</sup>, P. Attarod<sup>5</sup> and S. K. Bordbar<sup>6</sup>

1- Associate Professor, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran. (mheshmat@ut.ac.ir)

2- Ph.D. of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran. (rousta.t@ut.ac.ir)

3- Associate Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran. (Aknazari@ut.ac.ir)

4- Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Shiraz, I. R. Iran. (Zibaei@shirazu.ac.ir)

5- Professor, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran. (attarod@ut.ac.ir)

6- Associate Professor, Fars Agricultural Research, Education & Extension Center, Agricultural Research, Education & Extension Organization AREEO, I. R. Iran. (Sbordbar86@gmail.com)

Received: 04.08.2019

Accepted: 29.01.2020

### Abstract

This research aims to estimate the economic value of water quality (physico-chemical) provision in the Fars oak forests (Iran). The economic value of water quality provision was assessed using substitute cost (water treatment) and cost avoided methods. Economic value of water quality provision was estimated based on the existing water quality function and the annual high-quality water produced in the studied forests as well as the water treatment cost function. The annual provision of high-quality water (runoff and soil water storage) was estimated through calibrating and simulating the WEPP (Water Erosion Prediction Project) model in the studied forests. The water treatment cost function was estimated using translog function and the data of 19 water treatment plants at current prices of 2017. The result showed that a hectare of Fars oak forests provides 2573 cubic meter of high-quality water annually. Moreover, 1% raise in forest crown cover found to decrease the cost of water treatment by 0.11%. As such, the minimum value of water quality provision in the Fars oak forests with 2% real discount rate and current prices of 2017 was estimated to be 605 million IRR (Iranian Rials) per hectare. Further research is required to estimate the economic value of water quality provision (biological and physico-chemical), especially compared to agriculture and urban alternative land uses.

**Keywords:** Substitute cost method, Water quality function, Water quality index, Water treatment cost function, WEPP model.

---

\* Corresponding author

Tel: +989127005217